

랜덤 변수의 변동 주기 및 변동 범위에 따른 Random PWM 성능 비교

양진규, 김정빈
LS산전 전력전자연구소

Comparison of Performance for Random PWM according to updated frequency and applied range

Jinkyu Yang, Jeong Bin Kim
Power Electronics R&D Center, LS Industrial Systems Co., Ltd

ABSTRACT

Random PWM 방식은 기본파의 배수 고조파에 밀집된 성분을 광대역화할 수 있기 때문에 특정 주파수의 노이즈 감소 및 소음 저감 등에 효과가 있는 인버터 스위칭 방식이다. Random PWM을 구현하는 방법은 랜덤 변수를 생성하고 이를 이용하여 스위칭 주파수를 가변하거나, 인가되는 벡터의 위치를 변화시키는 등의 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 Random PWM 구현 방식, 랜덤 변수의 변동 주기, 랜덤 변수가 적용되는 크기 등의 차이에 따라 주파수 광대역화에 미치는 효과를 분석하였다. 이 결과로부터 구현을 위해 요구되는 조건에 따른 Random PWM의 효과를 비교할 수 있으며, 투입 비용 및 시스템 제한 조건 대비 최적의 Random PWM 방식을 선정할 수 있는 기준으로 활용될 수 있다.

1. 서론

최근의 전력 변환 장치는 변환 효율과 제어 성능의 향상을 위해 PWM(Pulse Width Modulation) 기법을 사용하고 있으며, 이를 통해 출력 전압에 포함된 기본파 크기의 선형적 제어, 출력 전압의 기본파 주파수 제어, 출력 전압에 포함된 고조파 성분 제어 등이 가능하다. 출력 전압을 효율적으로 제어할 수 있으므로 전압원 인버터, 직류 전원장치, 무정전 전원장치 등의 상용화된 전력전자 장비에 PWM 변조 방식이 널리 사용되고 있다. PWM 변조 방식에 사용되는 반송파는 일반적으로 고정된 주파수를 사용하고 있는데, 이로 인하여 스위칭 주파수의 정수 배에 해당하는 고조파를 발생시키며, EMI(Electromagnetic interference) 문제와 인버터 구동장치의 근본적인 가청 스위칭 소음을 유발하고 있다. 이와 같은 고정 주파수의 PWM 기법을 대체할 수 있는 방법으로 RPWM(Random PWM)이 주목 받고 있다.^[1] RPWM 기법은 랜덤한 스위칭 패턴을 이용하여 밀집된 고조파를 광대역화 시켜 고조파 및 소음 발생을 저감시키는 기법이다. 본 연구에서는 산업용 인버터에 이용된 다양한 RPWM 기법의 구동 원리를 분석하고, 가변 인자들의 변화에 따른 RPWM 효과를 비교 분석한다. 이 결과는 제한된 시스템에 RPWM을 구현하는 경우 RPWM 효과 대비 적절한 구현 방법을 선정하는데 활용될 수 있다.

2. Random PWM 원리 및 구현

2.1 RFPWM

Random PWM을 구현하는 방식은 다양하지만 스위칭 주파수를 변화시키는 RFPWM(Random Frequency PWM)과 공간 벡터가 인가되는 위치를 변화시키는 RPPWM(Random Position PWM)이 대표적이다.

RFPWM은 반송파 자체를 랜덤하게 변경하는 방법으로 구현 원리를 그림 1에 나타내었다. 삼각파의 주기가 변동하며 이에 따라 인버터의 극전압 파형도 같이 변동하게 된다. 삼각파의 주기에 따라 비교 레지스터의 값도 같은 비율로 변화하기 때문에 매 주기마다 듀티는 동일하며 인가되는 유효 전압도 동일하게 유지된다. 이를 통해 인버터의 선간 전압 파형으로부터 삼각파의 최대, 최소 시점을 유추하여 스위칭 주파수를 계산해 낼 수 있다. 그림 1에서 첫 주기 중 전압이 인가되는 시간을 T_{ON} , 인가되지 않는 시간을 T_{OFF} , 가상 스위칭 시작 시점부터 T_{ON} 까지의 시간을 T_{X1} 라 하고 연속된 주기의 듀티가 거의 같음을 이용하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{T_{ON_1} + T_{ON_2}}{T_{X_1} + T_{ON_1} + T_{OFF_1} + T_{ON_2} + T_{X_1}} = \frac{T_{ON_3} + T_{ON_4}}{(T_{OFF_2} - T_{X_1}) + T_{ON_3} + T_{OFF_3} + T_{ON_4} + (T_{OFF_2} - T_{X_1})}$$

선간 전압 파형으로부터 T_{ON} , T_{OFF} 를 측정할 수 있으므로 위 수식으로부터 T_{X1} 을 계산할 수 있으며 이로부터 한 주기의 스위칭 주파수를 계산해 낼 수 있다.

2.2 RPPWM

Random PWM을 구현하는 다른 방식은 RPPWM으로 실제 만들어지는 삼각파는 일정한 주파수를 가지지만 각 스위칭 주기 안에서 인가되는 영벡터의 위치를 변동시키므로써 Random PWM을 구현하는 방법이다. RPPWM의 구현 원리를 그림 2에 나타내었다. 각 상의 극전압은 비교 레지스터에 따라 ON, OFF 시점이 결정되는데, 실제 전동기에 영향을 주는 성분은 선간

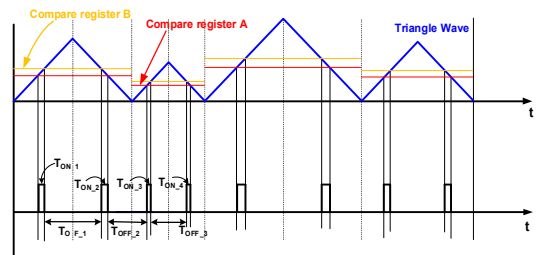


그림 1 RFPWM 기법 구현 원리

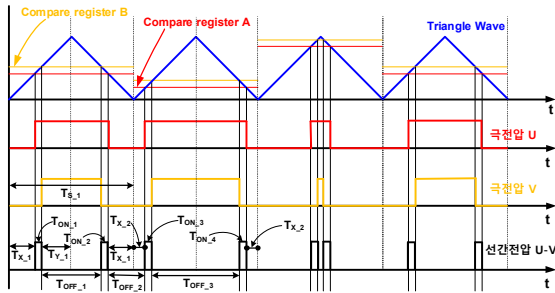


그림 2 RPPWM 기법 구현 원리

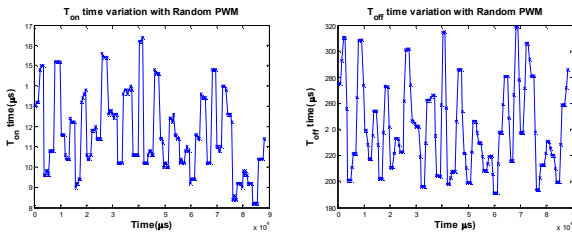


그림 3 범용 A의 TON, TOFF 변화

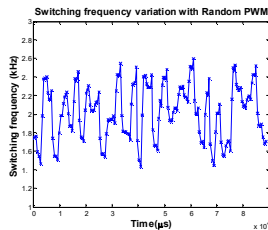


그림 4 범용 A 제품의 fs 변화

전압이 실제 인가되는 부분이며, 그 외에 각 상에 같은 전압이 인가되는 부분에서는 전동기에 전압이 인가되지 않는 영벡터 구역이 된다. 스위칭 특성을 좋게 하기 위하여 일반적으로 그림 1과 같이 영벡터를 인가하지만 그림 2와 같이 인가하는 영벡터를 스위칭 주기마다 변화시키면 스위칭 주파수가 랜덤하게 변화는 것과 유사한 효과를 낸다. [2][3] RPPWM에서 분석했던 것과 같은 수식을 이용하면 각 주기의 스위칭 시간 및 주파수를 추정해 낼 수 있다.

3. 범용 인버터 비교 분석 및 시험 결과

본 연구에서는 범용 인버터 A~D에 적용된 Random PWM 기법을 분석하여 사용된 방법을 추정하고, 실제 구현한 방법과 비교 분석하여 변동 주기, 변동 범위 및 기법에 따른 효과를 검증하였다. 선간 전압 파형으로부터 연산한 한 주기 시간의 변화가 TON, TOFF 시간의 변화와 일치한다면 RPPWM으로 추정할 수 있으며, TON, 스위칭 주파수는 일정하지만 TOFF 시간의 변화가 독립적으로 랜덤하게 나타난다면 RPPWM으로 추정할 수 있다. 그림 3에는 한 예로, 범용 A에 해당하는 TON, TOFF를, 그림 4에는 fs를 나타내었으며, 분석 결과로 구현된 랜덤 PWM 방식은 RPPWM으로 판단할 수 있다. 본 연구에서 구현한 RPWM 방식을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우 고조파 형태를 그림 5에 나타내었으며, RPWM을 적용한 경우 고조파가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구의 결과와 범용 인버터 A~D에 적용된 RPWM 방식, 변동 주기, 변동 범위에 따른 결과를 그림 6과 표 1, 2에 나타내었다. 시료 E~H는 본 연구에서 구현한 RPWM 방법을



그림 5 RPPWM 적용 유무에 따른 고조파 비교

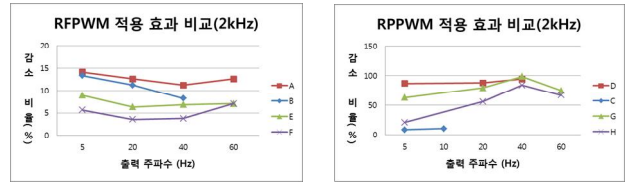


그림 6 RPWM 적용 효과 비교

표 1 RPPWM 효과 비교 분석

시험대상	변동 범위	주기당 변동 횟수	광대역화 정도
A	0.5kHz	1/4	적음
B	0.3kHz	1	중간
E	0.5kHz	1	큼
F	1kHz	1	가장 큼

표 2 RPPWM 효과 비교 분석

시험대상	변동 범위	주기당 변동 횟수	광대역화 정도
C	최대 -10µs	2	가장 큼
D	일정 범위	1	적음
G	최대+50%	1	중간
H	최대	1	큼

적용한 것이다. 시험 결과로부터 변동 범위가 클수록, 주기당 변동 횟수가 많을수록 광대역화 정도가 큰 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 RPWM 구현 원리에 대해 분석하고, 이를 통하여 현재 판매되고 있는 범용 인버터의 RPWM 구현 원리를 추정하였다. 또한 변동 범위, 변동 횟수에 따른 효과를 검증하기 위해 RPPWM, RPPWM 방법을 구현하였으며 변동 조건에 따른 광대역화 정도를 비교하였다. 본 연구의 결과로부터 RPWM 구현 기법에 따른 광대역화 정도를 파악할 수 있으며, 이를 토대로 실 제품에 구현이 용이하며 충분한 광대역화 효과를 낼 수 있는 적절한 방법을 선정할 수 있다.

참고 문헌

[1] Covic, G.A. and J.T.Boys, "Noise quieting with random PWM AC drives", *IEE Proceedings Electric Power Applications*, vol. 145, NO. 1, Jan. 1998, pp. 1-10.

[2] Analysis of a hybrid PWM based on modified space-vector and triangle-comparison methods," *IEEE Transaction on Industry Applications*, vol. 33, pp. 756-764, May/June 1997

[3] Michael M. Bech, Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, "Random Modulation Techniques with Fixed Switching Frequency for Three-Phase Power Converters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 15, No. 4, pp. 753-761, July 2000.